

T S1/5

1/5/1

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 2002 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05771832 \*\*Image available\*\*

PROJECTION OPTICAL DEVICE AND PROJECTION EXPOSURE DEVICE PROVIDED THE DEVICE

PUB. NO.: 10-054932 A]

PUBLISHED: February 24, 1998 (19980224)

INVENTOR(s): HATAZAWA MASATO

IKEDA MASATOSHI

APPLICANT(s): NIKON CORP [000411] (A Japanese Company or Corporation), JP  
(Japan)

APPL. NO.: 08-225872 [JP 96225872]

FILED: August 08, 1996 (19960808)

INTL CLASS: [6] G02B-007/02; G03F-007/20; H01L-021/027

JAPIO CLASS: 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment); 29.1  
(PRECISION INSTRUMENTS -- Photography & Cinematography); 42.2  
(ELECTRONICS -- Solid State Components)

JAPIO KEYWORD:R002 (LASERS); R005 (PIEZOELECTRIC FERROELECTRIC SUBSTANCES);  
R044 (CHEMISTRY -- Photosensitive Resins)

#### ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a mechanism for adjusting Seidel's five aberrations being basic aberration appearing the projection optical device of a projection exposure device without disassembling the projection optical device.

SOLUTION: This projection optical device 10 is equipped with a division type lens barrel 30 having three lens barrel members 30a, 30b and 30c divided so as to respectively house three lens elements 2a, 2b and 2c. By exchanging dowel washers 42ab, 42bc and 42cd being thickness adjusting members inserted between the lens barrel members adjacent to each other so that they can be exchanged, the lens element 2 is moved in an optical axis direction so as to correct distortion aberration, astigmatism and coma aberration. The curvature of field and spherical aberration are adjusted by changing the thickness and the radius of curvature of a glass plate 52 arranged at the end on an image side on an optical axis AX of the device 10.

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-54932

(43) 公開日 平成10年(1998) 2月24日

(51) Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 7/02			G 0 2 B 7/02	C
G 0 3 F 7/20	5 2 1		G 0 3 F 7/20	5 2 1
// H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平8-225872

(22) 出願日 平成8年(1996) 8月8日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 畑沢 正人

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 池田 正俊

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

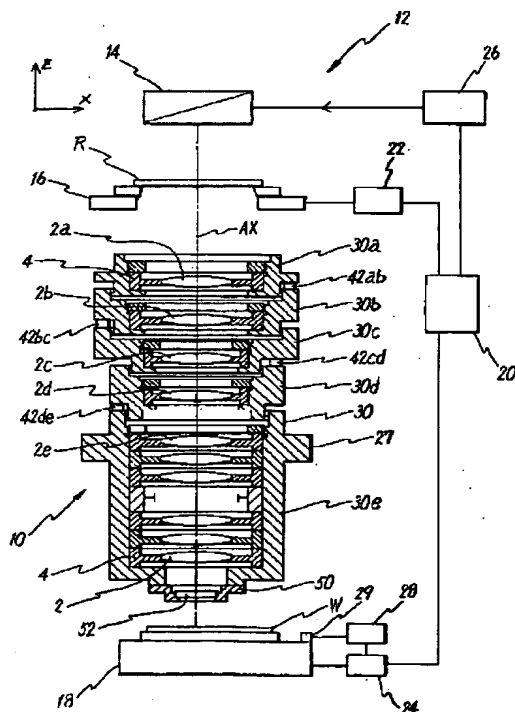
(74) 代理人 弁理士 川北 喜十郎 (外1名)

(54) 【発明の名称】 投影光学装置及びそれを装着した投影露光装置

## (57) 【要約】

【課題】 投影露光装置の投影光学装置で現れる基本的な収差であるサイデルの5収差を投影光学装置を分解することなく調整する機構を提供する。

【解決手段】 投影光学装置10は3つのレンズ素子2a, 2b, 2cをそれぞれ収容するように分割された3つの鏡筒部材30a, 30b, 30cを有する分割型鏡筒30を備える。互いに隣接する鏡筒部材間に交換可能に挿入される厚み調整部材であるコマワッシャー42a b, 42b c, 42c dを交換することによってレンズ素子2を光軸方向に移動させ、それによって歪曲、非点収差及びコマ収差を修正する。像面湾曲及び球面収差は、投影光学装置10の光軸AX上の像側端部に配置されたガラス板52の厚み及び曲率半径を変更することによって調整する。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 投影露光装置用の投影光学装置であって、  
少なくとも3つのレンズ素子と、  
上記少なくとも3つのレンズ素子を収容する鏡筒と、  
上記投影光学装置内部の少なくとも5か所の光路長を独立して変更することができる少なくとも5つの光路長変更手段とを有することによってザイデルの5収差を調整可能な上記投影光学装置。

【請求項2】 上記少なくとも5か所の光路長変更手段が、投影光学装置内の上記少なくとも3つのレンズ素子をそれぞれ光軸方向に移動する少なくとも3つのレンズ素子移動手段と、投影光学装置の光軸上の像側端部に配置され且つ曲率半径及び厚みを変更可能な光学素子とから構成されることを特徴とする請求項1記載の投影光学装置。

【請求項3】 上記少なくとも3つのレンズ素子移動手段により歪曲、非点収差及びコマ収差を調整し、上記投影光学装置の光軸上の像側端部に配置され且つ曲率半径及び厚みを変更可能な光学素子により球面収差及び像面湾曲を調整することを特徴とする請求項2記載の投影光学装置。

【請求項4】 上記少なくとも3つのレンズ素子移動手段に対応する少なくとも3つのレンズ素子が、上記投影光学装置の物体側に最も近い位置から順に投影光学装置の光軸上に配列されていることを特徴とする請求項3記載の投影光学装置。

【請求項5】 上記レンズ素子移動手段が、上記少なくとも3つのレンズ素子をそれぞれ収容するように分割された少なくとも3つの鏡筒部材と、互いに隣接する鏡筒部材間に交換可能に挿入された厚み調整部材とから構成され、上記厚み調整部材を交換することによってレンズ素子を光軸方向に移動させることを特徴とする請求項2～4のいずれか一項に記載の投影光学装置。

【請求項6】 上記分割された3つの鏡筒部材の隣接する鏡筒部材同士が螺子部材で互いに結合され、上記厚み調整部材が、該螺子部材に側方から装着可能な切り欠き部が形成されたコマワッシャーであることを特徴とする請求項5に記載の投影光学装置。

【請求項7】 上記レンズ素子移動手段が、上記少なくとも3つのレンズ素子をそれぞれ収容するように分割された少なくとも3つの鏡筒部材と、各鏡筒部材に固定されたシリンダ装置と、長尺部材であってその一端が互いに隣接する鏡筒部材の一方の鏡筒部材の固定点に枢動可能に支持され、長尺部材の中間部が他方の鏡筒部材の固定点に支持され、長尺部材の他端が該一方の鏡筒部材に固定されたシリンダ装置のピストンにより支持されている上記長尺部材とから構成されることを特徴とする請求項2～4のいずれか一項に記載の投影光学装置。

【請求項8】 上記レンズ素子移動手段が、上記少なく

2

とも3つのレンズ素子をそれぞれ収容するように分割された少なくとも3つの鏡筒部材と、互いに隣接する該鏡筒部材間に配置された圧電素子及びその駆動装置とから構成されることを特徴とする請求項2～4のいずれか一項に記載の投影光学装置。

【請求項9】 上記レンズ素子移動手段が、上記少なくとも3つのレンズ素子をそれぞれ収容するように分割された少なくとも3つの鏡筒部材と、該鏡筒部材に取り付けられ且つ互いに隣接する鏡筒部材間隔を変更可能なボール螺子とその駆動装置とから構成される請求項2～4のいずれか一項に記載の投影光学装置。

【請求項10】 上記投影光学装置の光軸上の像側端部に配置され且つ曲率半径及び厚みを変更可能な光学素子が、種々の厚み及び曲率半径を有する交換可能なガラス板を含むことを特徴する請求項2～9のいずれか一項に記載の投影光学装置。

【請求項11】 上下方向に隣接する鏡筒部材間に挿入された光軸と同心状の環状の板バネであって、該板バネの上面が上側の鏡筒部材で支持され且つ板バネの下面がその周方向において上側の鏡筒部材の支持位置とは異なる位置で下側の鏡筒部材に支持されたレンズ素子偏心防止用板バネをさらに備える請求項5～10のいずれか一項に記載の投影光学装置。

【請求項12】 マスクを照明する照明光学系と、複数のレンズ素子を有する投影光学系とを含み、該照明光学系からの光束をマスクに照射してマスクのパターンを被露光部材に投影露光する投影露光装置であって、上記投影光学系が、投影光学系内部の5か所の光路長をそれぞれ変更する5つの光路長変更手段を含むことによって投影光学系のザイデルの5収差を調整することができる上記投影露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体回路パターン等を感光基板上に転写する投影露光装置に用いられる投影光学装置及びそれを含む投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体製造のためのリソグラフィ工程で使用される投影露光装置は、多数のレンズ素子を鏡筒内に収容した投影光学装置を備えている。図7に、従来、投影露光装置で用いられていた投影光学装置の構造を示す。投影光学装置80は複数のレンズ素子82を鏡筒81内に備える。複数のレンズ素子82は、一体構造の鏡筒81内でそれぞれレンズ枠84により保持されて、共通の光軸AX上に配列されている。鏡筒81内に位置する一部のレンズ群（図7中、鏡筒の上端から4番目までのレンズ素子）の光軸AX方向の位置調整のために、それらのレンズ枠84間にレンズ間隔修正ワッシャー86が挿入されている。鏡筒81の頂部に押さえ環85を螺合して最も上方に位置するレンズ枠84aを下方に

50

押さえ付けることによって各レンズ枠84は鏡筒81内に固定される。

【0003】投影露光装置ではその使用環境の変化等に応じて投影光学装置の諸収差を補正する必要がある、かかる補正のためにいずれかのレンズ素子間の間隔を変更しなければならない。図7に示した従来の投影光学装置80は、その構造上、投影光学装置80を組み立てた後に鏡筒81の外側からレンズ素子82間隔を変更することができず、レンズ素子82間隔を変更するには、投影光学装置80を分解しなければならなかった。すなわち、押さえ環85を鏡筒81から外して、調整すべき特定のレンズ素子82まで各レンズ枠82を抜き取り、間隔修正ワッシャ86を変更または挿入してレンズ間隔を変更する必要があった。このため、これらの分解及び再組立に、かなりの手間を要し、さらに、投影露光装置中の投影光学装置の位置設定やアライメントを再度行わなければならなかった。

【0004】特開平4-127514号には、異なる投影露光装置でパターンを重ね合わせて露光する際に、像歪みによる重ね合わせ誤差を補正するために、投影光学系のレンズ素子間の間隔を変更する技術が開示されている。この投影露光装置の投影光学系では、レチクルに近い位置にあるレンズの支持体の間にピエゾ素子が配置されており、ピエゾ素子をレンズ光軸方向に駆動することでレンズ素子間隔を調整している。

【0005】近年、半導体等の回路パターンが一層微細化してきているために、投影光学系の諸収差を、一層高精度に調整して理想的な結像を得ることが要求されている。また、用いられるレチクルパターンや露光条件によっても投影光学系の諸収差の調整量は異なってくるために、高精度な重ね合わせ露光を実行する際に投影光学系を分解することなく、露光条件等に合わせて投影光学系の外部から容易にレンズ間隔等の光路長を調整できる機構が要望されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、投影光学装置で現れる基本的な収差であるザイデルの5収差を投影光学装置を分解することなく調整することができる投影光学装置及びそれを備えた投影露光装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の態様に従えば、投影露光装置用の投影光学装置であって、少なくとも3つのレンズ素子と、上記少なくとも3つのレンズ素子を収容する鏡筒と、上記投影光学装置内部の少なくとも5か所の光路長を独立して変更することができる少なくとも5つの光路長変更手段とを有することによってザイデルの5収差を調整可能な上記投影光学装置が提供される。

【0008】本発明の投影光学装置は、投影光学装置内

部の5か所の光路長をそれぞれ独立して変更することができる5つの光路長変更手段を備えるため、投影光学装置を分解することなく、ザイデルの5収差を迅速且つ容易に調整することができる。

【0009】上記少なくとも5か所の光路長変更手段は、それぞれ、投影光学装置内の上記少なくとも3つのレンズ素子を光軸方向に移動する少なくとも3つのレンズ素子移動手段と、投影光学装置の光軸上の像側端部に配置され且つ曲率半径及び厚みを変更可能な光学素子とから構成することができる。かかる構成を採用したことにより、歪曲、非点収差、コマ収差、像面湾曲及び球面収差からなるザイデルの5収差を有効に同時調整することができる。

【0010】上記少なくとも3つのレンズ素子移動手段により、歪曲、非点収差及びコマ収差を調整し、上記曲率半径及び厚みを変更可能な光学素子により球面収差及び像面湾曲を調整することが好ましい。ザイデルの5収差のうち歪曲、非点収差及びコマ収差は投影光学装置内の所定位置のレンズ素子間の光学長を変更することにより調整するのが有効であり、球面収差は投影光学装置において光束が密となる部分、すなわち、瞳近傍あるいは像面に近い部分で調整するのが有利であり、また、像面湾曲については投影光学装置を構成するいずれかのレンズ素子の曲率半径を変更することによって調整可能だからである。また、上記のような構成によれば、ザイデルの5収差の補正機構を投影光学装置に取り付けるために、装置自体の構造を大幅に変更しなくてもよい。

【0011】上記少なくとも3つのレンズ素子移動手段に対応する少なくとも3つのレンズ素子を、投影光学装置において物体側に最も近い位置から順に投影光学装置の光軸上に配列させることができる。物体側に近い側のレンズ素子間隔を調整することが歪曲、非点収差及びコマ収差の調整に有利だからである。理想的には投影光学装置の物体側に最も近いレンズ素子は歪曲の調整に、物体側に2番目に近いレンズ素子は非点収差の調整に、物体側に3番目に近いレンズ素子はコマ収差の調整に使用することが望ましい。しかしながら、現実的には完全に一つのレンズ素子の移動だけで特定の収差を調整することは困難であるために、3つ以上のレンズ素子の光軸上の位置を互いに調整しながら各収差が最も小さくなるようにするのが好ましい。

【0012】本発明の投影光学装置において、上記レンズ素子移動手段が、上記少なくとも3つのレンズ素子をそれぞれ収容するように分割された少なくとも3つの鏡筒部材と、互いに隣接する鏡筒部材間に交換可能に挿入された厚み調整部材を含み、上記厚み調整部材を交換することによってレンズ素子を光軸方向に移動させることができる。ここで、上記分割された3つの鏡筒部材の隣接する鏡筒部材同士が螺子部材で互いに結合される構造とし、上記厚み調整部材が、該螺子部材に側方から装着

可能な切り欠き部が形成されたコマワッシャーにすることが好ましい。上記交換可能に鏡筒部材間に挿入される厚み調整部材を用いることにより、鏡筒を分解することなく短時間にレンズ素子間の光路長を調整することができる。

【0013】また、上記レンズ素子移動手段が、上記少なくとも3つのレンズ素子をそれぞれ収容するように分割された少なくとも3つの鏡筒部材と、各鏡筒部材に固定されたシリンダ装置と、長尺部材であってその一端が互いに隣接する鏡筒部材の一方の鏡筒部材の固定点に枢動可能に支持され、長尺部材の中間部が他方の鏡筒部材の固定点に支持され、長尺部材の他端が一方の鏡筒部材に固定されたシリンダ装置のピストンにより支持されている上記長尺部材とから構成することもできる。シリンダ装置を駆動させて長尺部材を枢動させることによりテコの原理で鏡筒部材間の間隔、すなわち、レンズ素子間の光学長を微調整することができる。

【0014】また、上記レンズ素子移動手段は、上記少なくとも3つのレンズ素子をそれぞれ収容するように分割された少なくとも3つの鏡筒部材と、互いに隣接する該鏡筒部材間に配置された圧電素子及びその駆動装置とから構成することができる。圧電素子を用いることによって分割された鏡筒間距離を調整する機構が簡単になり、圧電素子に出力する電圧を一括して制御することにより、歪曲、非点収差及びコマ収差の調整が容易となる。

【0015】上記レンズ素子移動手段は、上記少なくとも3つのレンズ素子をそれぞれ収容するように分割された少なくとも3つの鏡筒部材と、該鏡筒部材に取り付けられ且つ互いに隣接する鏡筒部材間隔を変更可能なボール螺子とその駆動装置とから構成してもよい。

【0016】本発明の投影光学装置において、上下方向に互いに隣接する鏡筒部材間に挿入された光軸と同心状の環状の板バネであって、該板バネの上面が上側の鏡筒部材で支持され且つ板バネの下面がその周方向において上側の鏡筒部材の支持位置とは異なる位置で下側の鏡筒部材に支持されたレンズ素子偏心防止用板バネをさらに備えることが好ましい。かかる板バネをさらに鏡筒部材間に装着することにより投影光学装置の光軸上でのレンズ素子の移動及びチルトを可能とし、レンズ素子間の偏心を防止することができる。

【0017】本発明の第2の態様に従えば、マスクを照明する照明光学系と、複数のレンズ素子を有する投影光学系とを含み、該照明光学系からの光束をマスクに照射してマスクのパターンを被露光部材に投影露光する投影露光装置であって、上記投影光学系が、投影光学系内部の5か所の光路長をそれぞれ変更する5つの光路長変更手段を含むことによって投影光学系のザイデルの5収差を調整することができる上記投影露光装置が提供される。従って、投影露光装置を使用場所に搬入後、あるいは

は、複数のレチクルパターンを重ね合わせて感光基板上に露光する際に、ザイデルの5収差による像の変形を容易且つ迅速に調整することが可能になる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施例を図面を参照しながら説明するが、本発明はそれに限定されない。

【0019】図1に、本発明の投影光学装置10を装着した投影露光装置12の構成を概略的に示す。図1に示した投影露光装置12は、レチクルRに描かれた回路パターン像を投影光学装置10を介してウエハWのショット領域に投影するステップアンドリピート方式の投影露光装置である。この装置12は、主に、照明光学系14、レチクルRを走査方向に移動させるレチクルステージ16、投影光学装置10、ウエハWを投影光学装置の光軸AX（Z方向）と直交する方向（XY方向）に移動させるウエハステージ18及び制御系20から構成されている。投影光学装置10はその説明の都合上、断面構造を示した。

【0020】照明光学系14は図示しないリレーレンズ、フライアイレンズ、インテグレートセンサー、スペックル低減装置等で構成されている。光源であるエキシマレーザ等のレーザ装置26からの入射光は、照明光学系14を通過することによって均一照明となる。照明光学系14の下方に設置されたレチクルステージ16は、図示しないレチクルホルダを介してレチクルRを保持する。レチクルステージ16は、レチクルRを所定位置に位置付けるためにレチクルステージ制御装置22からの信号を受けてレチクルR面内（XY）方向に移動可能である。具体的には、レチクルRはそのパターンの中心点が投影光学装置10の光軸AX上に位置するように位置決めされる。照明光学系14により均一に照明されたレチクルRのパターンは、投影光学装置10を介してウエハW上に投影される。

【0021】投影光学装置10は、後述するように複数のレンズ素子2が鏡筒30内で共通の光軸AXを有するように同軸上に配列された構造を有し、レチクルRのパターン面とウエハWの表面とがそれらのレンズ素子2からなる光学系に関して共役になるようにレチクルRとウエハWとの間に配置されている。投影光学装置10の縮小倍率はレンズ素子2からなる光学系の倍率により決定される。鏡筒30の外周部上であってZ方向の中央位置には、投影光学装置10を投影露光装置12内の架台（図示しない）に装着させるための環状凸部27が形成されている。

【0022】ウエハWはウエハステージ18上により保持されている。ウエハステージ18はXY方向に移動可能なXYステージ（図示しない）とその上に設置されたZ方向及びチルトステージ（図示しない）とから主に構成されている。ウエハWは、Z方向及びチルトステージ

7

上に載置されて固定される。ウェハWの位置は、Z方向及びチルトステージ上に設置された移動鏡29と固定鏡(図示しない)とからの反射光をレーザ干渉計28によってモニターすることによって検出される。ウェハステージ制御系24はかかる検出信号を受けて、ウェハWを任意の位置に移動できるようにX、Y、Z、チルト駆動機構を制御する。ウェハWの表面にはフォトレジストが予め塗布されており、かかるフォトレジストの露光及び現像を通じてレチクルパターンに対応する凹凸パターンがウェハW上に形成される。

【0023】レーザ光源26のパワー及びパルス照射タイミングの制御、レチクルステージ16の微動制御及びウェハステージ18の移動制御は制御系20により一括して管理される。上記構成により、レチクルRが照明光学系14により均一に照明されると、レチクルRのパターンが投影光学装置10の縮小倍率に応じて縮小されてウェハW上のショット領域に転写される。一つのショット領域の露光処理が終了すると、次のショット領域が投影光学装置10を介してレチクルRのパターン面と共役な位置に位置するようにウェハステージ18がXY方向にステップ移動し、前記と同様の露光動作を行う。

【0024】次に、投影光学装置10の構造を説明する。レンズ素子2は、それぞれ、その外周部分において環状のレンズ枠2により保持され、レンズ枠2は鏡筒30内で光軸AXに沿って配列している。レンズ枠2により保持された各レンズ素子2の光軸は投影光学装置の光軸AXと同軸となるように配置されている。鏡筒30は、分割型の鏡筒であり、鏡筒30内のレチクルR側に配置された4つのレンズ素子2a、2b、2c、2dをそれぞれ収容する鏡筒部分30a、30b、30c、30dと、それより下方(ウェハ側)に位置するレンズ素子群を収容する鏡筒部分30eとに分割されている。

【0025】図2に、分割された鏡筒部分30a、30b及び30cの拡大上面図(a)及び拡大断面図(b)を示す。分割された鏡筒部分30aは、上下端が開放された筒状であり、下端はその開口直径がレンズ枠4の外径よりも小さくなるように内側に張出した内側張出部32aを有する。レンズ枠4は鏡筒部分30aの内側張出部32a及び側壁34aによって鏡筒部分30a内に支持されている。さらに側壁34aの上方内側には螺子部が形成されており、この螺子部に、外周に螺子部が形成された押さえ環5を螺合してレンズ枠4を下方に押さえ付けることによってレンズ枠4を鏡筒部分30a内で固定させる。このように押さえ環5を用いてレンズ枠4を鏡筒部分内で固定する構造は、鏡筒部分30b、鏡筒部分30c、鏡筒部分30d及び鏡筒部分30eにおいても同様である。

【0026】鏡筒部分30aは、その側壁34aが外側に張り出した外側張出部36aを有する。外側張出部36aは、図2(a)に示したように、鏡筒部分30aを

8

周回するように形成されており、外側張出部36aには周方向120°おきにボルト孔38aが形成されている。ボルト40をボルト孔38aを介して鏡筒部分30bの外側張出部36bの螺子孔に螺子込むことにより、鏡筒部分30aと鏡筒部分30bが結合される。ここで、ボルト40は、鏡筒部分30aの外側張出部36aと鏡筒部分30bの外側張出部36bとの間で、所定の厚さの馬蹄型のコマワッシャー42abを介して螺子込まれる。従って、鏡筒部分30aと鏡筒部分30bとの間隔、あるいは、鏡筒部分30a内のレンズ素子2aと鏡筒部分30b内のレンズ素子2bとの光学長はコマワッシャー42abの厚さによって調整される。コマワッシャー42abは馬蹄型であるので、ボルト40を緩めるだけで容易にボルト40の側方から外すことができ、異なる厚さのコマワッシャー42abを、鏡筒部分30aと鏡筒部分30bとの間に露呈しているボルト40側部に容易に装着することができる。かかるコマワッシャー42abを使用することにより、鏡筒部分30aと鏡筒部分30bとを分離することなくレンズ素子2aとレンズ素子2bの光学長を鏡筒30の外側から容易に調整することができる。外側張出部36a及び外側張出部36b間に装着される3つのコマワッシャー42abは、互いに同一の厚さにすることもできるが、それぞれ異なる厚さにしてもよい。互いに異なる厚さの3つのワッシャー42abを用いることにより、レンズ素子2aをレンズ素子2bに対して傾斜させることができ、像面の台形の歪曲を調整することに有効である。

【0027】図2(b)中、鏡筒部分30bは、基本的に鏡筒部分30aと同様の構造を有する。但し、鏡筒部分30bの外側張出部分36bは鏡筒部分30aの外側張出部分36aに向かって上方に延在し、外側張出部分36bの内側が鏡筒部分30aの底部と嵌合するような構造を有する。このような嵌合構造を採用することによって鏡筒間の偏心を防止することができる。鏡筒部分30c及び30dについても同様の偏心防止構造を有する。その他の構造は鏡筒部分30aと同様であり、鏡筒部分30bと鏡筒部分30c、鏡筒部分30cと鏡筒部分30d、鏡筒部分30dと鏡筒部分30eは、それぞれ、3つのコマワッシャー42bc、42cd、42deを介して周方向に120°おきに挿入される3本のボルト40により結合され、それらの鏡筒部分に収容されたレンズ素子間隔はそれらのコマワッシャー42bc、42cd、42deの厚みを変更することにより容易に調整することができる。なお、ボルト40間の干渉を回避するために、鏡筒部分30aと鏡筒部分30bとのボルト40による連結位置と鏡筒部分30bと鏡筒部分30cとのボルト40による連結位置とは周方向で互いに60°ずれている。例えば、鏡筒部分30aと鏡筒部分30bが0°、120°、240°の周方向位置で連結されているならば、鏡筒部分30bと鏡筒部分30cと

は60°、180°、300°の周方向位置で連結され、鏡筒部分30cと鏡筒部分30dが0°、120°、240°の周方向位置で連結されている。

【0028】図1に戻って、投影光学装置12の下端部には、光学素子としてのガラス棒50が螺合されており、ガラス棒50内には曲面を有するガラス板52が装着されている。このガラス板52の厚さを変更することにより投影光学装置10の下端からウエハWまでの光学長を変更して球面収差を調整することができる。また、このガラス板52の曲率半径を変更することで投影光学装置10の像面湾曲を調整することができる。このためには、種々の厚み及び曲率半径を有するガラス板52が装着された複数のガラス棒50を予め容易しておき、後述する球面収差及び像面収差を調整する際にガラス棒50ごと交換するのが便利である。かかるガラス板52による収差の調整の際にはガラス棒50だけ交換すればよいので、投影光学装置を分解する必要はない。

【0029】図1及び図2に示した分割型の鏡筒30を用いて、ザイデルの5収差を調整する方法を以下に説明する。ザイデルの5収差は、投影光学装置10における\*

$$\begin{bmatrix} Y \\ MS \\ CO \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ MS_1 & MS_2 & MS_3 \\ CO_1 & CO_2 & CO_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix}$$

【0032】式中、 $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ は、それぞれ、レンズ素子2aの単位移動量当たりの歪曲調整係数、レンズ素子2bの単位移動量当たりの歪曲調整係数、レンズ素子2cの単位移動量当たりの歪曲調整係数を示す。また、 $MS_1$ 、 $MS_2$ 、 $MS_3$ は、それぞれ、レンズ素子2aの単位移動量当たりの非点収差調整係数、レンズ素子2bの単位移動量当たりの非点収差調整係数、レンズ素子2cの単位移動量当たりの非点収差調整係数を示す。また、 $CO_1$ 、 $CO_2$ 、 $CO_3$ は、それぞれ、レンズ素子2aの単位移動量当たりのコマ収差調整係数、レンズ素子2bの単位移動量当たりのコマ収差調整係数、レンズ素子2cの単位移動量当たりのコマ収差調整係数を示す。

【0033】ここでは、歪曲 $Y$ 、非点収差 $MS$ 及びコマ収差 $CO$ のそれぞれが、上記の3つのレンズ素子間隔 $L_{ab}$ 、 $L_{bc}$ 及び $L_{cd}$ に応じて変化し、その変化の割合は調整する各レンズ素子2a、2b、2cによって異なることを前提としている。上記行列式中の要素 $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $MS_1$ 、 $MS_2$ 、 $MS_3$ 、 $CO_1$ 、 $CO_2$ 、 $CO_3$ は各レンズ素子2の光学設計時に計算で求めることができる。また、投影光学装置の実際の歪曲、非点収差及びコマ収差は所定のテストパターンを投影露光装置により試し露光して得られたパターンの像位置や形状を観測※50

\* 光学系の歪曲、像面湾曲、非点収差、コマ収差及び球面収差であり、これらの収差のうち、歪曲、非点収差及びコマ収差の3収差を鏡筒部分30aと30bとの間隔、鏡筒部分30bと30cとの間隔、鏡筒部分30cと30dとの間隔、すなわち、レンズ素子2aと2bの光学長、レンズ素子2bと2cの光学長、レンズ素子2cと2dの光学長を変更することによって調整し、球面収差をガラス板52の厚み、像面湾曲をガラス板52の曲面の曲率半径をそれぞれ変更することによって調整する。

【0030】レンズ素子2aと2b間の間隔 $L_{ab}$ の変化量（レンズ素子2aの光軸方向の移動量）を $d_1$ 、レンズ素子2bと2c間の間隔 $L_{bc}$ の変化量（レンズ素子2bの光軸方向の移動量）、レンズ素子2cと2d間の間隔 $L_{cd}$ の変化量（レンズ素子2cの光軸方向の移動量）を $d_3$ とする。この場合、これらのレンズ素子間隔の変化量に対する投影光学装置の歪曲 $Y$ 、非点収差 $MS$ 、コマ収差 $CO$ は以下の行列式により表すことができる。

【0031】

【数1】

※することによって求めることができる。かかる観測から求められた補正されるべき歪曲 $Y$ 、非点収差 $MS$ 及びコマ収差 $CO$ の値と、前記計算から求められた行列要素 $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $MS_1$ 、 $MS_2$ 、 $MS_3$ 、 $CO_1$ 、 $CO_2$ 、 $CO_3$ とを上記行列式に代入することによって調整すべきレンズ素子間隔の変化量（各レンズ素子の光軸方向の移動量） $d_1$ 、 $d_2$ 及び $d_3$ を求めることができる。

【0034】次に、図1及び図2に示した投影光学装置10における球面収差及び像面湾曲の調整法を説明する。前述のように投影光学装置10の下端に螺着するガラス棒50を複数個用意しておく。各ガラス棒50にはそれぞれ異なる厚さ及び曲率半径を有するガラス板（レンズ素子）を装着させておく。そして、例えば、特定の厚さ及び曲率半径のガラス板52を有するガラス棒50を装着した投影光学装置10で所定のテストパターンをウエハW上に試し露光し、得られたパターンを観測することで球面収差及び像面湾曲をそれぞれ観測する。かかる観測から調整すべき球面収差及び像面湾曲の量に応じて好適なガラス板の厚み及び曲率半径を有するガラス板52が装着されたガラス棒50を選択し、それを先に投影光学装置10に装着した特定のガラス棒50と交換する。前述のように、ガラス板の厚みは球面収差を調整し、ガラス板52の曲率半径は像面湾曲を調整する。

11

【0035】上記例では、投影光学装置の歪曲、非点収差及びコマ収差を、図1及び図2の投影光学装置10の鏡筒部分30a~30dまでのレンズ素子間隔 $d_1$ 、 $d_2$ 及び $d_3$ を変更することによって調整したが、さらにレンズ素子2dとレンズ素子2eとの間隔 $d_4$ を加えて4つのレンズ素子間隔 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 及び $d_4$ をパラメータとして上記3つの収差を求めてもよい。この場合、例えば、歪曲を2種類の像高位置で検出される歪曲に分類してよく、計算で得られる4行4列の行列要素と、試し露光により得られた2種類の歪曲、非点収差及びコマ収差から上記4つのレンズ素子間隔 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 及び $d_4$ を調整することができる。さらに、上記3種類の収差を、5つ以上に分割した鏡筒部分を用いてそれらの5つ以上のレンズ素子間隔を変更することによって調整することもできる。

【0036】上記例では、種々の厚みのコマワッシャー42を用いてレンズ素子2間の光学長を調整する機構を説明したが、レンズ素子2間の光学長を調整する別の機構としてマイクロメータを利用してレンズ素子2間の光学長を微調整する例を示す。図3は、図2(b)に示した鏡筒30aと鏡筒30bの外側張出部36a及び36bの拡大図(図2(b)の鏡筒の右上部分)である。図3中、外側張出部36a及び36b間に、それらの間隔を微調整する機構として、コマワッシャー42及びボルト40の代わりに可動長尺部材50及び固定長尺部材52が配置される。

【0037】固定長尺部材52の一端の裏面は鏡筒30bの外側張出部36bの上面に固着されている。固定長尺部材52の一端の上面にはベアリング58を支持するベアリング支持部54が設けられている。固定長尺部材52の他端にはピストン56b及びシリンダ部56aからなるマイクロメータ56のシリンダ部56aが埋設されている。マイクロメータ56のピストン56bはシリンダ部56aに装着されたダイヤル(図示しない)を回転させることによって可動長尺部材50に向かって伸縮可能である。

【0038】図3に示すように、可動長尺部材50の一端にベアリング支持部50aが形成されており、ベアリング58は固定長尺部材52及び可動長尺部材50のベアリング支持部54、50aにより支持される。また、ベアリング支持部50aの近傍にはコ字状の軸受け50bが設けられている。軸受け50bは、鏡筒30aの外側張出部36aの下面に形成された固定突起部59を支点として鏡筒30aを支持している。可動長尺部材50の他端側は固定長尺部材52に埋設されたマイクロメータ56のピストン56bの先端により上方に付勢されている。上記のような構造において、マイクロメータ56のダイヤルを回転してピストン部56bをシリンダ部56aからさらに延出させると、可動長尺部材50はベアリング58を起点として上方に枢動する。この際、可動

12

長尺部材50の軸受け50bは外側張出部36aの固定突起部59を支持しているために、鏡筒部分30aを上方に移動させることができる。この移動量は、図3に示したように、軸受け50bと接触する固定突起部59からベアリング48までの距離と、固定突起部59から可動長尺部材50のピストン部56bとの接触部までの距離との比が1:10であるため、ピストン56aの突出量の1/10となる。この可動長尺部材50はテコとして機能し、その減速機構によりマイクロメータ56にかかる荷重は軸受け50bにかかる荷重の1/10となる。例えば、分解能 $1\mu\text{m}$ 、耐荷重2kgfのマイクロメータ56を利用した場合、分解能 $0.1\mu\text{m}$ 、耐荷重20kgfの微動機構となる。

【0039】可動長尺部材50、固定長尺部材52、マイクロメータ56、ベアリング48及び固定突出部59は、鏡筒部分30a及び鏡筒部分30bの外側張出部36a及び36bの周回方向に $120^\circ$ おきに全部で3か所形成されている。このため、それらの3か所でマイクロメータ56を調整することによって鏡筒部分30aに収容されたレンズ素子2aと鏡筒部分30bに収容されたレンズ素子2bとの光学長を微調整することができる。同様にして、可動長尺部材50、固定長尺部材52、マイクロメータ56、ベアリング48及び固定突出部59は、鏡筒部分30aと鏡筒部分30bとの間のみならず、鏡筒部分30bと鏡筒部分30c、鏡筒部分30cと鏡筒部分30d、鏡筒部分30dと鏡筒部分30eとの外側張出部の周回方向に $120^\circ$ おきに設けられている。各鏡筒部分間に設けられた可動長尺部材50、固定長尺部材52、マイクロメータ56、ベアリング48及び固定突出部59が、レンズ素子移動手段を構成する。このように図3に示したようなレンズ素子2の間隔を調整する機構を用いて、前記と同様にして、試し露光から得られた像の歪曲Y、非点収差MS及びコマ収差C、Oの値と、前記計算から求められた行列要素 $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $MS_1$ 、 $MS_2$ 、 $MS_3$ 、 $CO_1$ 、 $CO_2$ 、 $CO_3$ とを上記行列式に代入することによって、レンズ素子2aと2b間の間隔 $L_{ab}$ の変化量 $d_1$ 、レンズ素子2bと2c間の間隔 $L_{bc}$ の変化量 $d_2$ 、レンズ素子2cと2d間の間隔 $L_{cd}$ の変化量 $d_3$ を求め、それに応じてレンズ素子2a、2b、2cを光軸方向に移動することによって歪曲、非点収差及びコマ収差を修正することができる。

【0040】レンズ素子間の光学長を調整するさらに別の機構を図4を用いて説明する。なお、図4にはこの機構の説明の都合上、図1に示した投影露光装置12のうち投影光学装置10部分(断面図)だけを示した。この投影光学装置10では、鏡筒部分30a及び鏡筒部分30bのレンズ素子間光学長並びに鏡筒部分30b及び鏡筒部分30cのレンズ素子間光学長を調整するために、図1及び図2に示したコマワッシャー42の代わりに、



13

アクチュエータ60b、60cを装着している。鏡筒部分30a、30b、30cは、それぞれ、図1及び図2(b)に示した構造と同様に外側張出部36a、36b、36cを備えるが、それらはアクチュエータ60b、60c及び変位検出器64a、64bを装着するために、周回方向120°おきの外側張出部36a及び36bに、図1及び図2(b)に示した外側張出部より長く部分的に張り出している。アクチュエータ60bの本体部は鏡筒部分30bの外側張出部36bに埋設され、アクチュエータ60bの本体部から突出するピストンの突出量によって、鏡筒部分30aの外側張出部36aと鏡筒部分30bの外側張出部36bとの間隔が調整される。アクチュエータ60bと対向する外側張出部36aの上面には変位検出器64aが設けられており、ピストン突出量の変化を計測することができる。

【0041】アクチュエータ60b及び変位検出器64aは、それぞれ、鏡筒部分30a及び鏡筒部分30bの周回方向120°おきの外側張出部36a及び36bの3ヶ所に形成されている。このため、それらの3ヶ所でアクチュエータ60bを調整することによって鏡筒部分30aに収容されたレンズ素子2aと鏡筒部分30bに収容されたレンズ素子2bとの光学長を微調整することができる。同様に、アクチュエータ60b及び変位検出器64aは、鏡筒部分30a及び鏡筒部分30bとの間のみならず、図4に示したように鏡筒部分30b及び鏡筒部分30cの外側張出部36b、36cの周回方向にも120°おきに設けられている。但し、図4の投影光学装置10を上方から見た図5に示したように、鏡筒部分30bの外側張出部36bに設置したアクチュエータ60bと、鏡筒部分30cの外側張出部36cに設置したアクチュエータ60cとが干渉しないように、互いに周方向に60°ずれて位置している。図5に示すように、投影光学装置12は、アクチュエータ60b、60c(図中、破線で示す)を制御してレンズ素子間の光学長を調整するための制御器66を備える。制御器66は、変位検出器64a、64bにより検出されたアクチュエータ60b、60cの変位量に相当する信号を受け、レンズ素子間(2a-2bまたは2b-2c)の間隔を調整するためにアクチュエータ60b、60cに駆動信号を送る。

【0042】図4及び図5に示したようなレンズ素子2の間隔を調整する機構を用いて、前記と同様に、試し露光から得られた像の歪曲Y、非点収差MS及びコマ収差COの値と、前記計算から求められた行列要素 $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $MS_1$ 、 $MS_2$ 、 $MS_3$ 、 $CO_1$ 、 $CO_2$ 、 $CO_3$ とを上記行列式に代入することによって、レンズ素子2aと2b間の間隔 $L_{ab}$ の変化量 $d_1$ 、レンズ素子2bと2c間の間隔 $L_{bc}$ の変化量 $d_2$ 、レンズ素子2cと2d間の間隔 $L_{cd}$ の変化量 $d_3$ を求め、それに応じてレンズ素子2a、2b、2cを光軸方向に移

14

動することによって歪曲、非点収差及びコマ収差を有効に修正することができる。

【0043】図4及び図5に示した投影光学装置10において、アクチュエータ60b、60c及び変位検出器64a、64bとしては、例えば、エンコーダ付のモータとボールネジを組合せて使用することができる。精度を一層良くするにはさらに変位センサを設けてもよい。変位検出器64a、64bとして、ポテンショメータ、オプティカルエンコーダ、静電容量センサ、レーザ干渉計等を要求する精度に応じて用いることができる。静電容量センサ、レーザ干渉計を用いれば非接触で間隔変化を測定することができる。

【0044】図4及び図5に示した投影光学装置10において、アクチュエータ60b、60cの代わりにピエゾ素子を鏡筒部分の外側張出部間36a-36b、36c-36dに挿入することもできる。ピエゾ素子を用いることによって変位検出器64a、64bを省略することもできる。ピエゾ素子をアクチュエータ60a、60bの代わりに用いる場合には、図5における制御器66はピエゾ素子を駆動する駆動電圧を各ピエゾ素子に出力する。

【0045】図4に示したアクチュエータ60b、60c及び変位検出器64a、64bを用いたレンズ素子間の光学長の変更機構を備えた分割型鏡筒30において、さらに鏡筒部分30aと30b、鏡筒部分30bと30cをそれぞれ円周板バネ70a、70bでつないだ構造を図6に示す。この円周板バネ70a、70bは、レンズ素子2よりも大きな内径を有する。円周板バネ70aは、その上面において、変位検出器64aと円周方向において同じ位置で、120°おきに鏡筒部分30aの外側張出部36aの下面の一部に固着されている。一方、円周板バネ70bの下面は、変位検出器64bと円周方向において同じ位置で120°おきに鏡筒部分30bの外側張出部36bの上面の一部に固着されている。従って、円周板バネ70aは、例えば、0°、120°、240°の位置でその上面が上方の鏡筒部分30aと連結され、60°、180°、300°の位置でその下面が下方の鏡筒部分30bと連結されており、鏡筒部分30a、30bは円周板バネ70aを介して結合されていることになる。同様に、円周板バネ70bは、例えば、0°、120°、240°の位置でその上面が上方の鏡筒部分30bと連結され、60°、180°、300°の位置でその下面が下方の鏡筒部分30cと連結されており、鏡筒部分30b、30cは円周板バネ70bを介して結合されている。

【0046】上記のように円周板バネ70a、70bを用いて分割された鏡筒部分を連結することにより、各鏡筒部分間では光軸AX方向のみの移動に自由度を持たせ、光軸AXから鏡筒部分が偏心する移動を拘束することができる。また、円周板バネ70a、70bを上記の

15

ように用いることによって、各レンズ素子の中心を光軸AXから外すことなくチルトさせることができる。

【0047】上記実施例では、ステップアンドリピート方式の投影露光装置を例に挙げて説明したが、本発明の投影光学装置はステップアンドリピート方式以外にも、例えば、ステップアンドスキャン方式、ミラープロジェクション方式、コンタクト方式等の種々の露光方式の投影露光装置に適用することができる。

【0048】また、ザイデルの5収差を調整するためのレンズ素子間の間隔として、物体面に近い側の3つのレンズ素子間の光学長を調整したが、これは一例にすぎず、用いるレンズ素子の種類やレンズの枚数等によって種々の位置で調整することが可能である。さらに、レンズ素子の移動手段に加えて一つまたは複数のレンズ素子が収容され密封され且つその内部の気体の圧力を変更することができるLC室を投影光学装置内に設けることもできる。かかるLC室によりレンズ素子間の気体の屈折率を変更して投影光学装置の倍率の調整が可能となる。

【0049】

【発明の効果】本発明の投影光学装置は、投影光学装置内部の5つの光学長を変更する手段を設けたために、投影光学装置を分解することなくザイデルの5収差を迅速且つ容易に調整することが可能となる。特に、少なくとも3つのレンズ素子移動手段により、歪曲、非点収差及びコマ収差を調整し、投影光学装置の像面側端部に配設した曲率半径及び厚みを変更可能な光学素子により球面収差及び像面湾曲を調整することによって一層容易且つ迅速にザイデルの5収差を同時に補正することができ、装置構成に簡単になる。

【0050】本発明の投影光学装置において、鏡筒として分割型鏡筒を用い、各鏡筒に収容されたレンズ素子間隔を、鏡筒部材間に挿入される厚み調整部材、圧電素子等を使用すること調整することによってザイデルの5収差のうち歪曲、非点収差、コマ収差を有効に調整することができる。

【0051】本発明の投影露光装置は、その投影光学装置のザイデルの5収差を容易且つ迅速に調整することが

16

できるため、微細パターンの露光及び重ね合わせ露光を正確に実行することができる。従って、本発明の投影露光装置を用いれば、半導体回路を製造するためのスループットを向上することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の投影光学装置を含む投影露光装置の一具体例の概略構造を示す図である。

【図2】図1の投影光学装置の分割型鏡筒の構造を示す図であり、図2(a)は分割された鏡筒部分の上面図であり、図2(b)は断面図である。

【図3】レンズ素子間の間隔を調整するための機構を概略的に示す図である。

【図4】レンズ素子間の間隔を調整するための別の機構を概略的に示す図である。

【図5】変位検出器、アクチュエータ及びその制御器を含む分割型鏡筒の上面図である。

【図6】円周板バネを鏡筒部分間に組み込んだ、レンズ素子間の間隔を調整するための機構を概略的に示す図である。

【図7】従来の投影露光装置に使用されていた投影光学装置の構造を概略的に示す図である。

【符号の説明】

2, 2a, 2b, 2c, 2d, 2e レンズ素子

4 レンズ枠

10 投影光学装置

12 投影露光装置

30a, 30b, 30c, 30d, 30e 鏡筒部分

42a, 42b, 42c, 42d, 42e コマワッシャー

40 ボルト

36a, 36b, 36c, 30d 外側張出部分

60b, 60c アクチュエータ

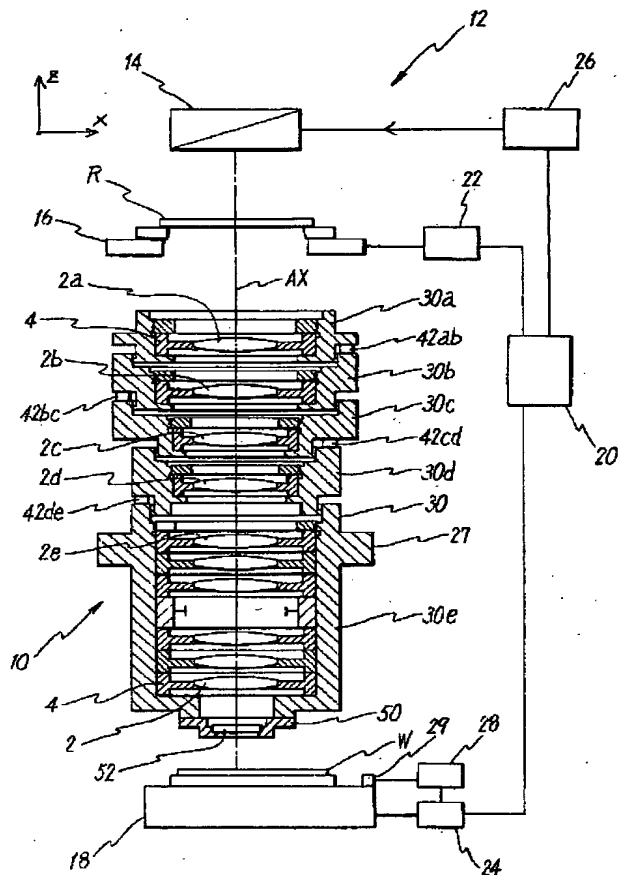
64a, 64b 変位検出器

82, 82a レンズ素子

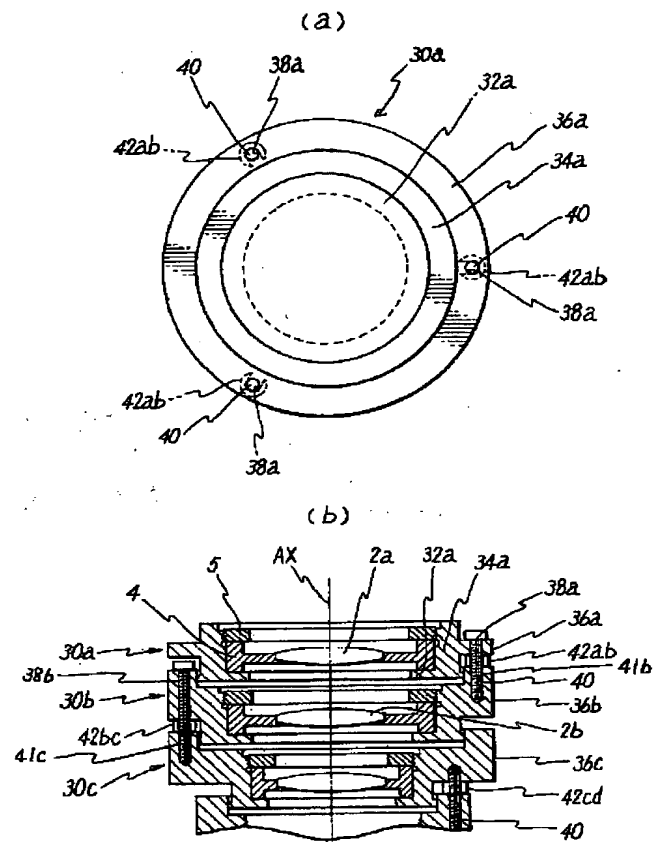
R レチクル

W ウエハ

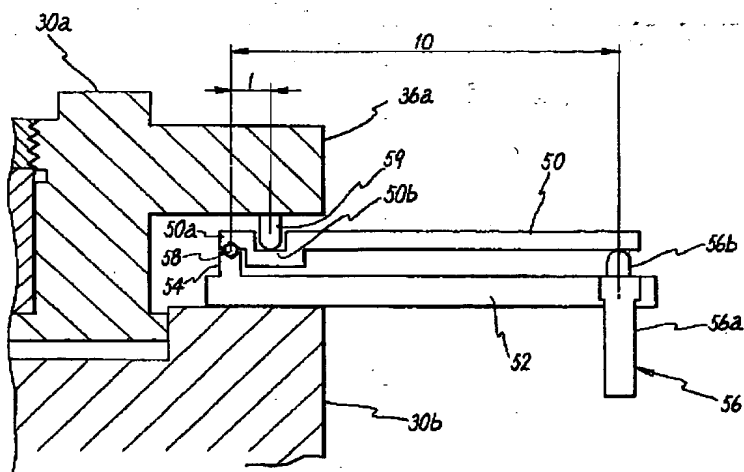
【図1】



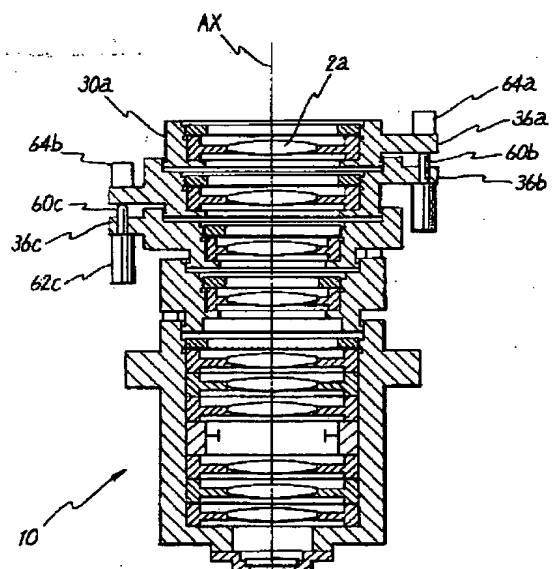
【図2】



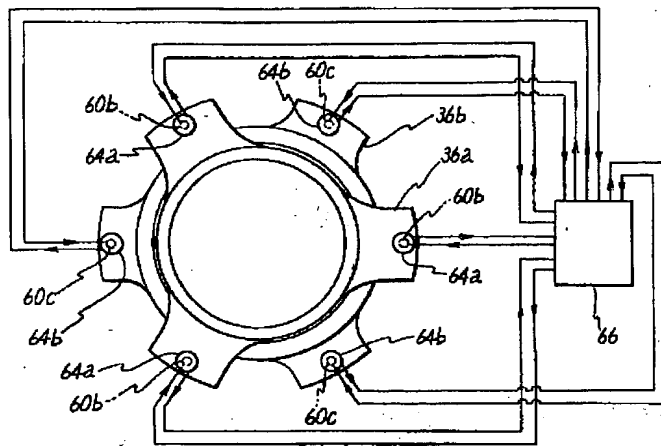
【図3】



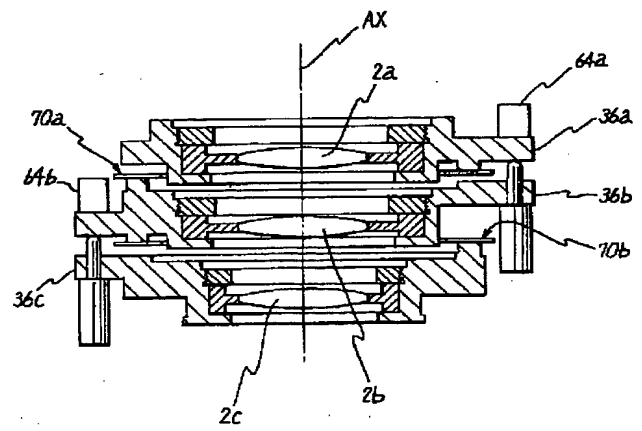
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

